



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Offenl gungsschrift**
⑩ **DE 197 23 177 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 01 L 31/101
// G01J 9/00, G06E
1/00

②1 Aktenzeichen: 197 23 177.2
②2 Anmeldetag: 3. 6. 97
④3 Offenlegungstag: 10. 12. 98

DE 197 23 177 A 1

⑦1 Anmelder:
Daimler-Benz Aktiengesellschaft, 70567 Stuttgart,
DE

⑦2 Erfinder:
Presting, Hartmut, Dr., 89134 Blaustein, DE;
Pearsall, Thomas, Prof., Mercer Island, Wash., US;
Masini, Gianlorenzo, Rom, IT; Colace, Lorenzo,
Rom, IT

⑤5 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

US	56 46 421
US	54 59 332
US	53 84 469
US	53 11 047
US	48 20 915
US	46 33 287
WO	96 13 865 A1

FANG, Y.K., et.al.: A Vertical-Type a-Si:H Back-
to-Back Schottky Diode for High-Speed Color
Image Sensor. In: IEEE Electron Device Letters,
Vol.12, No.4, April 1991, S.172-174;
TSAI, Hsiung-Kuang, LEE, Si-Chen: Amorphous SiC/
Si three-color detector. In: Appl. Phys. Lett.52,
(4), 25. Jan. 1988, S.275-277;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑤4 Spannungsgesteuerter wellenlängenselektiver Photodetektor

⑤7 Ein spannungsgesteuerter wellenlängenselektiver Photodetektor ist aus einer Doppeldiode aufgebaut, die aus einer gegeneinander gepolten Si-Schottkydiode und aus einer SiGe PIN-Diode besteht. Der kurzwellige Anteil ($\lambda < 0,9 \mu\text{m}$) des durch ein Fenster in den Detektor eintretenden Lichts erzeugt bevorzugt Elektron-Lochpaare im Si Schottky-Detektor, während der längerwellige Anteil ($1 \mu\text{m} < \lambda < 2 \mu\text{m}$) das Substrat passiert und im epitaktisch abgeschiedenen SiGe Übergitter bzw. der Quantum Well Diode bevorzugt absorbiert wird. Die Photoströme beider Detektoren fließen dabei physikalisch in entgegengesetzte Richtungen und subtrahieren sich, so daß dies zu einem wellenlängenabhängigen Vorzeichen des Photostroms führt. Die Höhe der angelegten Bias-Spannung entscheidet, ob der Photostrom der Si-Schottkydiode oder der Photostrom der Si/Ge PIN-Diode das Spektrum bestimmt. Dies kann beispielsweise in einer Anwendung zum Decodieren von Signalen genutzt werden, indem durch eine Umwandlung des Lichtsignals in ein elektrisches Ausgangssignal und durch Subtraktion der Photoströme der beiden Detektoren gerade der Rauschanteil herausgefiltert wird und damit das Signal/Rauschverhältnis eines Lichtsignals erhöht wird.

DE 197 23 177 A 1

Die Erfindung betrifft einen spannungsgesteuerten wellenlängenselektiven Photodetektor nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 und ein Verfahren zu dessen Verwendung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 11.

Spannungsgesteuerte wellenlängenselektiven Photodetektoren können bei optoelektronischen Wandlern, bei der Signalaufbereitung und für logische Schaltnetze eingesetzt werden.

Aus einer Schrift (Friedmann et al. in compound semiconductor, Seite 27, Nov./Dez. 1996) bekannt sind Photodetektoren aus Verbindungshalbleiter, die im zwei Wellenlängenbetrieb verwendet werden. Außerdem ist in einer vor dem Anmeldetag eingereichten, jedoch nachveröffentlichten Patentanmeldung (AZ 197 14 054) ein Photodetektor beschrieben, der aus zumindest zwei übereinander angeordneten Photodioden aus dem Halbleitermaterial Silicium/Silicium-Germanium (Si/SiGe) aufgebaut ist. Verwendung finden diese Detektoren beispielsweise in Solarzellen mit dem Ziel, durch eine Addition der in den einzelnen Detektoren entstehenden Ladungen einen möglichst hohen Photostrom zu erzeugen. Dabei trägt die Verwendung unterschiedlicher Halbleitermaterialien dazu bei, neben einem hohen Wirkungsgrad eine hohe spektrale Empfindlichkeit zu erzielen. Die einzelnen in den Detektoren entstehenden Photoströme überlagern sich immer additiv. Damit wird zwar das Detektieren von Lichtsignalen mit mehreren Photodetektoren angewandt, jedoch nicht die Möglichkeit einer Signalaufbereitung durch eine Subtraktion der Photoströme.

Zur Trennung eines Nutzsignals S vom Rauschen N und zur Verbesserung des Signal/Rauschverhältnisses (S/N) werden zur Signaldecodierung aufwendige Anordnungen und Verfahren, die aus mehreren Detektoren, Strahlteilern, Filtern und zusätzlicher Elektronik bestehen angewandt.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, einen kostengünstigen, monolithisch hochintegrierbaren Photodetektor anzugeben, der durch Wellenlängenselektivität ein breites Spektrum zur Signalumwandlung eröffnet und insbesondere zur Verbesserung des Signal/Rauschverhältnisses eines optischen Signals verwendbar ist.

Die Erfindung wird durch die Merkmale der Patentansprüche 1 und 11 wiedergegeben. Die weiteren Ansprüche enthalten vorteilhafte Aus- und Weiterbildungen der Erfindung.

Der erfindungsgemäße Photodetektor ist aus einer Doppeldiode aufgebaut, die aus einer gegeneinander gepolten Si-Schottkydiode und aus einer SiGe PIN-Diode besteht. Der kurzwellige Anteil ($\lambda < 0,9 \mu\text{m}$) des durch ein Fenster in den Detektor eintretenden Lichts erzeugt bevorzugt Elektron-Lochpaare im Si-Schottky-Detektor, während der längerwellige Anteil ($1 \mu\text{m} < \lambda < 2 \mu\text{m}$) das Substrat passiert und im epitaktisch abgeschiedenen SiGe Übergitter bzw. der Quantum Well Diode bevorzugt absorbiert wird. Die Photoströme beider Detektoren fließen dabei physikalisch in entgegengesetzte Richtungen und subtrahieren sich, so daß dies zu einem wellenlängenabhängigen Vorzeichen des Photostroms führt. Die Höhe der angelegten Bias-Spannung entscheidet, ob der Photostrom der Si-Schottkydiode oder der Photostrom der Si/Ge PIN-Diode das Spektrum bestimmt.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von vorteilhaften Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf schematische Zeichnungen in den folgenden Figuren näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 Aufbau eines Photodetektors,

Fig. 2 Ersatzschaltbild der Doppeldiode eines Photodetektors,

Fig. 3 Photostrom eines Detektors bei höherer positiver

und negativer Bias-Spannung als Funktion der Wellenlänge λ ,

Fig. 4 Photostrom eines Detektors im Betriebszustand bei geringeren Bias-Spannungen zwischen -0,3 und 0,4 Volt,

Fig. 5 Signal/Rauschverhältnis eines decodierten Signals.

Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 wird auf ein gering p-dotiertes Si-Halbleitersubstrat 1 beispielsweise mittels Molekularstrahlepitaxie die dargestellte Schichtstruktur abgeschieden. Die Schichtstruktur besteht dabei aus

- einem gradierten SiGe-Puffer 2, einer Dicke von ungefähr 650 nm, mit einer Ge-Endkonzentration von beispielsweise 60 Atomprozent

- einem konstanten SiGe-Puffer 3, einer Dicke von ungefähr 500 nm, bevorzugt mit einer der Ge-Endkonzentration des gradierten Puffers 2 entsprechenden Ge-Konzentration von 60 Atomprozent

- einem n-dotierten Si-Ge-Übergitter 4 mit einer Dicke von ungefähr 200 nm, bestehend aus einer sich periodisch wiederholenden Schichtenfolge aus beispielsweise sechs Monolagen Si und vier Monolagen Ge, mit einer Dotierstoffkonzentration (Sb) von 10^{17} pro cm^3

- einer hoch n-dotierten (10^{19} pro cm^3) Si-Deckschicht 5 einer Dicke von ungefähr 2 nm.

Mit gängigen Verfahrensschriften der integrierten Halbleitertechnologie werden die Detektorbereiche beispielsweise durch Siliziumdioxid oder Grabenätzung elektrisch gegen das umgebende Halbleitermaterial isoliert. Ebenfalls mit Standard-Halbleiterprozeßtechnik wird die als Schottky-Kontakt wirkende Metallisierung des substrateitigen ersten Kontakts 6, einschließlich des Fensters 8, und der zweite Metallkontakt 7 auf der Epitaxieschicht strukturiert. Der zweite Metallkontakt 7 bildet durch die hohe Dotierung der dünnen Deckschicht 5 einen ohmschen Kontakt.

Das dem Schichtaufbau entsprechende Ersatzschaltbild der Doppeldiode A und B ist in Fig. 2 abgebildet.

Die Wirkungsweise der gegeneinandergeschalteten Dioden zeigt der Kurvenverlauf des Photostroms als Funktion der eingestrahelten Lichtwellenlänge. Abhängig von der Bias-Vorspannung des Detektors ergibt sich entweder ein Photostrom 10 aus der Siliziumdiode oder ein Photostrom 11 aus der PIN-SiGe-Diode für den Fall, daß die Spannung so hoch gewählt wird, beispielsweise $\pm 1 \text{ V}$, daß immer eine der beiden Dioden durchschaltet und die andere im Sperrbereich betrieben wird.

Das im Betriebszustand genutzte dynamische Verhalten des Detektors stellt sich für Bias-Spannungen ein, die zwischen den Grenzen $\pm 1 \text{ V}$ liegen. Die Kurvenverläufe sind in Fig. 4 für einige Zwischenwerte eingetragen. Bei geeigneter gewählter Bias-Spannung, beispielsweise für 0,2 V weist der Kurvenverlauf in Abhängigkeit der Wellenlänge sowohl positive wie auch negative Werte auf. Dies kann beispielsweise in einer Anwendung folgendermaßen zum Decodieren von Signalen genutzt werden.

Bei einem einfallenden optischen Signal mit zwei Trägerfrequenzen λ_1 und λ_2 ist die Responsivität R des Detektors gegeben durch die Beziehung:

$$R = A_1 (S+N) + A_2 N; \text{ wobei } A_1 \text{ und } A_2 \text{ die}$$

spannungsabhängige Responsivität der einzelnen Dioden bei den Wellenlängen λ_1 und λ_2 , S das Nutzsignal und N das Rauschsignal darstellt. Durch Anlegen einer geeigneten Bias-Spannung kann die Bedingung $A_1 = -A_2$ erfüllt werden, indem so abgeglichen wird, daß die Photoströme der beiden Dioden entgegengesetzte Vorzeichen besitzen, wor-

aus sich ergibt:

$$R=A_1 S.$$

Das Nutzsignal S kann damit sehr einfach vom Rauschpegel getrennt werden. Das Signal/Rauschverhältnis (S/N) eines Nutzsignals S, das durch Decodieren aufbereitet wurde zeigt Fig. 5. Der Kurvenverlauf beweist in diesem Beispiel, daß durch dieses Verfahren das Signal/Rauschverhältnis durch die Überlagerung der Signale im Bereich der ausgewählten Wellenlängen λ_1 und λ_2 beträchtlich gesteigert wird.

Patentansprüche

1. Spannungsgesteuerter wellenlängenselektiver Photodetektor, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Photodetektor aus mindestens zwei übereinander angeordneten und für unterschiedliche Wellenlängenbereiche empfindliche Detektoren (A, B) aufgebaut ist, die elektrisch gegeneinander gepolt sind.
2. Spannungsgesteuerter wellenlängenselektiver Photodetektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der erste Detektor (A) aus einer Schottky-Diode besteht.
3. Spannungsgesteuerter wellenlängenselektiver Photodetektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Detektor (B) aus einer Si/SiGe pn-Diode oder PIN-Diode besteht.
4. Spannungsgesteuerter wellenlängenselektiver Photodetektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Detektor (B) mit integriertem Resonator ausgebildet ist.
5. Spannungsgesteuerter wellenlängenselektiver Photodetektor nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß über dem zweiten Detektor (B) ein Bragg-Reflektor angeordnet ist.
6. Spannungsgesteuerter wellenlängenselektiver Photodetektor nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die aktive Detektorschicht des zweiten Detektors (B) aus einer Si-Ge Vielschichtstruktur (4) besteht.
7. Spannungsgesteuerter wellenlängenselektiver Photodetektor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Si-Ge Vielschichtstruktur als Ge/SiGe Quantentopfpotential ausgebildet ist.
8. Spannungsgesteuerter wellenlängenselektiver Photodetektor nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Si-Ge Vielschichtstruktur als Si-Ge Übergitter ausgebildet ist.
9. Spannungsgesteuerter wellenlängenselektiver Photodetektor nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich in einer am ersten Detektor (A) befindlichen ersten Kontaktschicht (6) Fenster für den Lichteintritt in den Detektor befinden.
10. Spannungsgesteuerter wellenlängenselektiver Photodetektor nach den vorangehenden Ansprüchen, dadurch gekennzeichnet, daß die am zweiten Detektor (B) befindliche zweite Kontaktschicht (7) auf einer hoch n-dotierten Siliciumschicht einen ohmschen Kontakt bildet.
11. Verfahren zur Verwendung eines spannungsgesteuerten wellenlängenselektiven Photodetektors mit mindestens zwei übereinander angeordneten Detektoren (A, B), die elektrisch gegeneinander gepolt sind, zur Verbesserung des Signal/Rauschverhältnisses eines Lichtsignals, bestehend aus dem Lichtanteil einer ersten Wellenlänge, der den Rauschanteil enthält und

dem Lichtanteil einer zweiten Wellenlänge, der den Rauschanteil und das Nutzsignal enthält, durch eine Umwandlung des Lichtsignals in ein elektrisches Ausgangssignal, dadurch gekennzeichnet, daß

- an den Kontakten der beiden Detektoren (A, B) eine Biasspannung angelegt wird,
- und die Bias-Spannung am Photodetektor so gewählt wird, daß sich durch die Subtraktion der Photoströme der beiden Detektoren gerade der Rauschanteil herausgefiltert wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

FIG.1

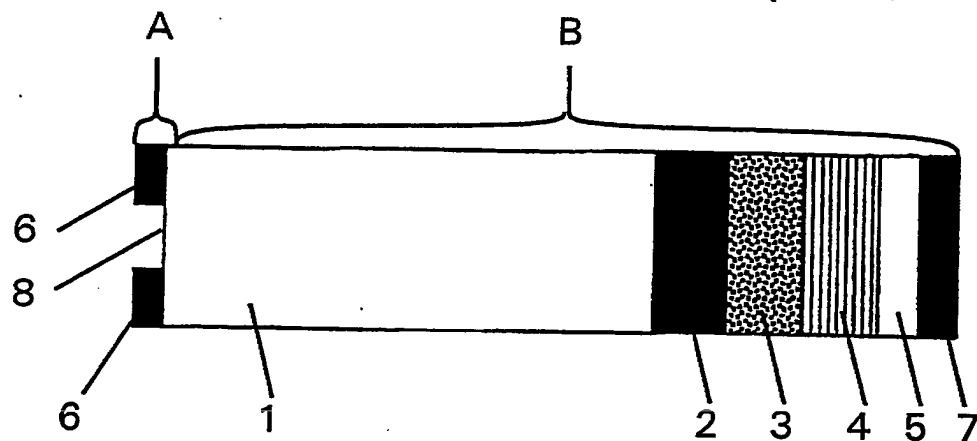


FIG.2

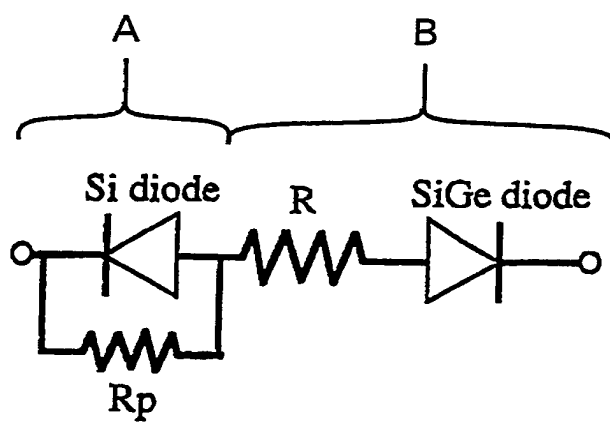


FIG.3

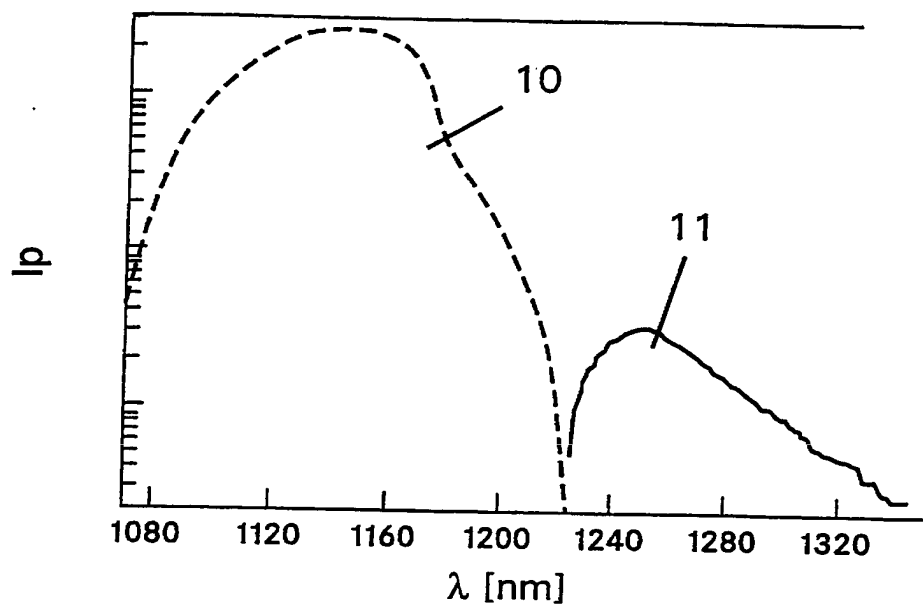


FIG.4

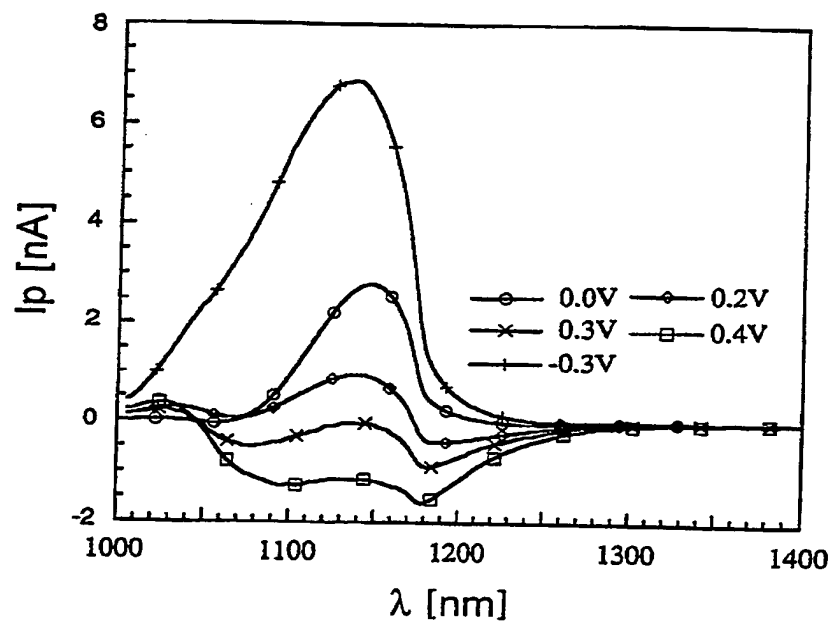


FIG.5

